

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Доктора технических наук, доцента кафедры автоматике и компьютерных технологий Лапина Сергея Эдуардовича на диссертационную работу Яковлева Андрея Михайловича «Обоснование методики геоинформационного моделирования при планировании горных работ в режиме управления качеством сырья», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – Геоинформатика

1. Актуальность работы

Управление качеством минерального сырья является важным этапом современных процессов горного производства, особенно это важно для освоения новых сложноструктурных месторождений и действующих горных предприятий при изменении горнотехнических и горно-геологических условий добычи полезных ископаемых в динамике развития горных работ, ужесточении требований к полноте извлечения полезных компонентов, качеству получаемой из минерального сырья продукции. Это требует современных подходов к производству горного дела с применением новейших методик геоинформационного моделирования и автоматизированного планирования при минимальных финансовых и временных затратах. Для обеспечения полноты извлечения и стабилизации качества извлекаемого минерального сырья с доведением его до уровня товарной продукции на действующих предприятиях используются методики компьютерного моделирования горно-геологических объектов и автоматизированной оценки запасов месторождений на основе зарубежных и частично отечественных горно-геологических информационных систем (ГГИС). В работе предложены методики построения и адаптации моделей месторождения, которые служат основой для решения задач: подсчета запасов, проектирования предприятия, планирования горных работ, обоснования кондиций, нормирования потерь, расстановки технологического оборудования в режиме управления качеством.

В работе автор приводит результаты изученности вопроса по литературным источникам, а также анализ применяемых систем управления

качеством на крупных железорудных карьерах и методик программного обеспечения автоматизированного планирования горных работ в режиме управления качеством. На примерах лидирующих в этих вопросах АО «Карельский Окамыш» (Костомукшский ГОК), ЕВРАЗ КГОК (Качканарский ГОК), ОАО «Михайловский ГОК», ПАО «Коршуновский ГОК», установлено, что на всех предприятиях используется унифицированный комплекс компьютерных моделей, а планирование в используемых ГГИС осуществляется в режиме управления качеством. Установлено, что изменчивость полезных ископаемых при планировании горных работ учитывается недостаточно. Анализ научных трудов за последние 30 лет свидетельствует, что изменчивость качественных показателей - важная характеристика, влияющая на стабильность рудопотоков и определяющая эффективную работу обогатительного передела. Это позволяет заключить, что обоснование геоинформационного моделирования при планировании горных работ в режиме управления качеством сырья является важной и актуальной задачей.

В первой главе по результатам анализа состояния изученности вопроса по литературным источникам и деятельности крупных железорудных сформулированы: цель работы, задачи исследования, решение которых представлено в последующих главах и соответствует сформулированным научным положениям.

В главе два «Разработка методики оценки пространственной изменчивости качественных показателей» обоснованы подходы к выбору способа управления качеством руд на различных этапах развития горных работ. Установлено, что выбор способа рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья для установленного распределения в карьере типов и сортов полезного ископаемого производится по результатам геометризации. Обоснование способа управления качеством определяется оценкой колеблемости содержаний полезных и вредных компонентов, выражаемых коэффициентом вариации. Усреднение руды на складах и в

рудопотоке рекомендуется, если дисперсия показателей качества незначительна и коэффициент вариации $v < 30\%$. Раздельная добыча руды с выделением природных типов и технологических сортов рациональна при значении коэффициента вариации $v > 30\%$. На основании вышеизложенного **сформулировано первое научное положение**, суть которого заключается в том, что «**обоснование способа управления качеством на различных этапах прогноза развития горных работ осуществляется на основании геопространственной оценки изменчивости коэффициентов вариации содержания полезных и вредных компонентов минерального сырья по глубине и площади рудного тела, при этом, селективная выемка природных типов и сортов руд выбирается по пороговому значению коэффициента вариации, превышающему 0,3**».

Далее в главе 2 показано, что геологическая база данных, где сосредоточены пространственные и атрибутивные данные скважинного опробования, является начальным этапом формирования модели месторождения и позволяет производить первичную оценку горно-геологических и горнотехнических условий месторождения для выработки стратегии ведения горных работ с учетом изменчивости качественных показателей.

Моделирование при экспресс-оценке и поиске перспективных для управления качеством участков производится на основании совокупной оценки изменчивости качества, а также степени разведанности месторождения. Исходными данными для экспресс-оценки являются таблицы с интервальными данными качества и координатной привязкой устьев разведочных скважин.

На примере Собственно-Качканарского месторождения автором установлено, что значения содержания титана и ванадия будут иметь повышенные значения, если отработку месторождения вести с запада на восток, но более рациональным, с его точки зрения, для выдерживания

минимальных коэффициентов вариации является вариант отработки с севера на юг - вкрест разведочным профилям.

Для условий Серовского месторождения комплексных руд на основании использованной экспресс-методики моделирования и анализа качественных показателей руд автором выделено и районировано 2 природных и 3 технологических типа. С позиций снижения variability качества добываемых руд предложены места первоочередного заложения вскрывающих выработок и общий порядок отработки.

Методика экспресс-оценки является основанием для совокупной оценки качества руд, их изменчивости, разведанности. Результатом являются рекомендации по выбору рационального способа отработки конкретного участка фронта горных работ: валовая или селективная выемка, отдельная добыча, деление рабочей зоны на подступы с целью получения требуемого значения содержания при минимальной дисперсии. Для оценки влияния порядка отработки на изменчивость качественных показателей исходными данными являются: блочная модель месторождения, производительность карьера и требования фабрики к исходному сырью. Подсчет объемов и качества планируемого к отработке минерального сырья между смежными положениями горных работ для каждого этапа развития рабочей зоны карьера служит основанием для выбора способа управления качеством на основе ранее обоснованных критериев колеблемости.

Таким образом, «обоснование подходов к управлению рудопотоками на участках карьера в режиме управления качеством достигается изменением высоты выемочного слоя и шага подвигания горных работ, способа выемки, усреднения или предобогащения, осуществляемых на основании анализа изменчивости качества по предложенной методике районирования природных и технологических типов руд», что подтверждает обоснованность второго научного положения.

В третьей главе обоснована методика создания геоинформационного обеспечения для перспективного и текущего планирования открытых горных

работ в режиме управления качеством, включающая вопросы: порядка создания геоинформационной базы, формирования динамических матричных и блочных моделей, погоризонтных планов для планирования горных работ и создания основы для формирования цифровых двойников отработки эксплуатационных горизонтов.

Для учета изменчивости качественных характеристик минерального сырья используются матричные модели, что наиболее просто позволяет реализовать требования к анализу вариативности показателей качества и обоснованию способов его стабилизации.

Геоинформационное обеспечение планирования горных работ автором обеспечивается совокупностью блочных, каркасных и матричных динамических моделей, учитывающих неоднородность распределения показателей качества минерального сырья с целью достижения заданных показателей по объемам и содержанию оцениваемых компонентов в геопространстве и времени. Унификация методики достигается за счет использования (экспорта/импорта) стандартных блочных моделей, принятых в различных ГГИС при соответствующей их модернизации под решаемые задачи.

С использованием макрокоманд на каждой итерации планирования горных работ рассчитываются объемы руды, вскрыши, средневзвешенное содержание и изменчивость руд. После набора плановых показателей в разработанном программном обеспечении формируются различные варианты календарного графика с задаваемым уровнем детализацией (год, карьер, уступ, соотношение руд по типам, изменчивость), рассчитываемые по всей совокупности микроблоков, попавших в календарный этап планирования.

Для выявленных участков неоднородности производится автоматизированная оценка формы гистограмм вероятностного распределения содержания полезных и вредных компонентов в исследуемых объемах с целью выбора рационального способа рудоподготовки и выделения технологических типов и природных сортов руд. В случае наличия двух пиков

(бимодального), формы типа – «плато» или «распределения с изолированным пиком», предлагается предусматривать в блоке селективную выемку, либо отдельную добычу типосортов руд из разных блоков. Такие участки возможно программно выделять цветом на стадии генерации матричных моделей и в дальнейшем учитывать их объем отдельно при планировании в среде рабочего окна.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что **информационное обеспечение планирования горных работ обеспечивается созданием совокупности блочных, каркасных и матричных динамических моделей, учитывающих неоднородность распределения показателей качества минерального сырья и обеспечивающих достижение заданных показателей по объемам и содержанию оцениваемых компонентов в геопространстве и времени, что соответствует задачам третьего научного положения.**

В четвертой главе приведены основные результаты практической реализации элементов разработанной методики.

Практическая реализация изложенных результатов исследования позволяет повысить эффективность и комплексность освоения запасов сложноструктурных месторождений, что особенно важно в период санкционной политики и необходимости импортозамещения. Для Западного карьера АО «Карельский окатыш» выявлена тенденция к улучшению качества руды с ростом глубины карьера. В частности, Fe_{mag} с 17% на гор. +195 м до 27% на гор. -240 м÷-270 м, что позволяет повышением скорости углубки обеспечить повышенное среднее содержания железа магнитного в добываемых рудах.

Разработанная методика геоинформационного обеспечения процесса планирования горных работ на основе данных блочных моделей позволяет произвести анализ текущего состояния горных работ на предприятии, оценить по горизонтам объемы и качество руд, изменчивость качественных показателей. На их основе в короткие сроки можно произвести

многовариантную оценку дальнейшего развития горных работ, разработать автоматизированные календарные планы не только по объемам и содержанию полезных и вредных компонентов на требуемый период планирования, но и с учетом изменчивости руд и соотношения различных их сортов. Данная методика может использоваться для оценки стратегии освоения месторождения и выбора направлений развития горных работ, оценки применяемых методов рудоподготовки, что позволяет строить трехмерные планы горных работ с детальной картой грузопотоков по системе «склад-карьер-горизонт».

Использование алгоритма триангуляции и на этой основе создание моделей изогипс позволило разработать применительно к условиям Эльгинского месторождения экспресс-методику оценки изменчивости качественных показателей энергетических свойств, коксумости, а также потерь и засорения угольных пластов. Полученные сведения о распределении качественных характеристик слагающих Эльгинское месторождение угольных пластов позволили рекомендовать внедрение технологии предобогащения - грохочения угольной массы на местах ведения горных работ.

Результаты исследований на Гусевогорском и Собственно-Качканарском месторождениях титаномагнетитов показали, что малотитанистая разновидность руды по сравнению с нормальнотитанистой имеет более высокую обогатимость и измельчаемость и меньшую магнитную жесткость. Поэтому в действующую классификацию руд по обогатимости, помимо принятых на ГОКе показателей крупности зерна титаномагнетита и содержания железа общего в концентрате, при геометризации введен дополнительный параметр - предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах.

Результаты диссертационной работы соответствует пунктам 4,6,7 Паспорта специальности.

2. Новизна исследований и полученных результатов заключается в:

– целенаправленном системном геоинформационном моделировании различных горно-геологических условий, как базы для оценки и рационального комплексного использованию запасов месторождений;

– выборе способа управления качеством минерального сырья на основе экспресс-оценки и автоматизированного поиска перспективных для управления качеством участков рабочей зоны карьера;

– разработке методики геоинформационного обеспечения процессов планирования горных работ, основанной на вероятностно-статистическом анализе изменчивости качественных характеристик, обеспечивающей гибкое поэтапное принятие технологических решений.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации

Достоверность разработанных динамических моделей подтверждается корректностью постановки задач и применяемых методов исследования, достаточным объемом проанализированной информации, аргументированной обоснованностью теоретических выводов и практических рекомендаций, сходимостью результатов моделирования и фактического распределения качественных характеристик в массиве горных пород.

Показано, что автоматизированное планирование горных работ в режиме управления качеством минерального сырья обеспечивается созданием и использованием динамических матричных и блочных моделей, учитывающих морфологические особенности оруденения и объемно-качественные свойства полезных ископаемых. Предложенная методика районирования технологических типов руд в зависимости от масштаба оцениваемого объекта основана на построении моделей изогипс (экспресс-оценка объектов: уступ блок), а также каркасных и блочных моделей при детальном анализе стратегии управления качеством.

4. Значимость выводов и рекомендаций диссертанта для науки и практики

Практическая значимость исследования заключается в создании и обосновании методики геоинформационного моделирования при планировании и проектировании горных работ. Методика позволяет произвести анализ распределения качественных характеристик рудных и угольных месторождений, а затем сформировать детализированный календарный план отработки по различным направлениям ведения горных

работ каждого карьера ГОКа с формированием комплекса динамических геоинформационных моделей.

Разработанная методика геоинформационного обеспечения оперирует унифицированными моделями, адаптируемыми к принятым на предприятиях ГГИС. Основная область адаптации сложных и разветвленных информационных систем — разработанный подход к экспорту/импорту данных геологической базы данных и базовых блочных моделей, не нарушающий установленные пользователем алгоритмы планирования и работы с созданными предприятием информационными моделями. Применение матричных моделей обеспечивает системную взаимоувязку порядка развития горных работ, мест выемки вскрыши и создания условий для поддержания рудных фронтов требуемой протяженности с учетом качества руд.

Формируемая динамическая основа расчетов для ускорения времени вычислений и анализа качественных показателей допускает изменение параметров анализируемых участков и микроблоков, начиная с размеров 100x100x15 метров (возможно более), заканчивая 5x5x5 метров. Модификация исходных статических блочных моделей в динамические достигается не только за счет изменения размеров и конфигурации совокупности микроблоков, но и за счет ввода атрибутов: время, показатели вариации качества, участки, требующие специальных способов управления качеством.

Апробация методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ показала возможность быстрой адаптации геологической блочной модели, имеющейся на предприятии и трансформации ее в систему взаимосвязанных динамических матричных моделей по каждому из карьеров, вовлеченных в процесс планирования отработки, что позволяет формировать интегральные и взаимоувязанные показатели разработки по объемам и качеству во времени разработки в учет переменной интенсивности горных работ в каждом из карьеров.

Основные результаты исследований рекомендуются в качестве методической базы для совершенствования методики автоматизированных расчетов при планировании горных работ, адаптации осваиваемых новых и

действующих программных средств на предприятиях и в проектных организациях, а также в учебном процессе при изучении студентами дисциплин, связанных с освоением информационных технологий в горном деле.

5. Публикации и апробация работы

По теме диссертации автором написаны 19 научных статей, в том числе 9 в журналах, включённых в перечень ВАК. Данные материалы полностью отражают научные положения, представленные в диссертации.

6. Язык и стиль диссертации

Материал диссертации и автореферата изложен логически и грамматически правильно, в научном стиле. Язык изложения соответствует литературным нормам. В структуре диссертации прослеживается классическая связь между содержанием глав и формулировками защищаемых научных положений.

7. Замечания по содержанию и оформлению диссертации

1) Согласно теории управления рассматриваемая горно-геологическая система относится к классу “больших” (плохо организованных) систем и, следовательно, анализ таких систем целесообразно построить на базе теории и алгоритмов нечетких множеств (например, FIDESYS разработки МГУ им. М.В. Ломоносова).

2) В диссертации нет отдельного рисунка, где бы была представлен методика геоинформационного моделирования при планировании горных работ в режиме управления качеством сырья. В 3-й главе на рисунке 3.1 представлена блок-схема геоинформационного обеспечения – является ли она главным элементом основной методики диссертации?

3) В работе не отражена специфика использования разработанной методики для различных горно-геологических условий конкретных месторождений?

- 4) В работе нет прямых сопоставлений и преимуществ предлагаемой методики с хорошо освоенной рядом уральских предприятий системой "MICROMINE".

8. Заключение

Диссертация Яковлева Андрея Михайловича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-практической задачи - разработана методика геоинформационного обеспечения планирования горных работ в режиме управления качеством минерального сырья, учитывающая изменчивость качественных характеристик и выбор способа управления качеством рудной массы при проектировании новых и планировании горных работ действующих карьеров, имеющей существенное значение для горных предприятий и проектных институтов.

Диссертация соответствует требованиям п. 9. Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Яковлев Андрей Михайлович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Официальный оппонент,

доктор технических наук,

доцент кафедры автоматизации и компьютерных технологий

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Уральский государственный горный университет".

Шифр специальности, по которой защищена Диссертация
25.00.35 - Геоинформатика

Почтовый адрес: 620144, Свердлов. обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30

Телефон: +7 (343) 257-25-47

Электронный адрес: office@ursmu.ru

Лапин Сергей Эдуардович

